

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE TEOR ALCOÓLICO DE DORNAS, pH E BRUX EM UM PROCESSO FERMENTATIVO

Alex Anderson de Oliveira Moura¹, Bruno Vieira da Silva²

Resumo

O Brasil atualmente se destaca como um dos maiores produtores de cana de açúcar do mundo, essa cultura tem grande importância para o cenário econômico brasileiro, atualmente o país possui destaque a nível mundial como o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo tendo crescido exponencialmente em números de toneladas colhida, por área plantada. Visando um crescimento contínuo, cada vez mais se busca através de estudos, alternativas para uma maior eficiência de processo. Esse trabalho baseou-se em um estudo de caso em uma usina localizada no sudoeste goiano produtora de etanol e teve como objetivo avaliar estatisticamente através de gráficos de superfície de resposta e análise de variância a influência do teor alcoólico em dornas, juntamente com o pH e teor de brix no rendimento de produção de etanol. O trabalho foi realizado em uma empresa do setor sucroalcooleiro em um município do sudoeste goiano. A indústria se encontra no mercado desde 1982, tendo como principal foco a produção de etanol a partir da utilização do processo de fermentação alcoólica. Coletaram-se os dados disponibilizados pela própria empresa, compreendidos entre os meses de agosto e outubro de 2018, e avaliou-se a relação direta do teor alcoólico para o rendimento da produção de etanol através de um planejamento estatístico variando o teor de Brix e pH. De acordo com os resultados da análise de variância, o único parâmetro que possui uma influência significativa sobre o rendimento de álcool produzido foi o teor de brix e, fixando os valores quantitativos de álcool na dorna, quanto maiores os valores de teor de brix, melhor o rendimento de produção de etanol para qualquer valor de pH.

Palavras-chave: Fermentação Alcoólica. Produção de Etanol. Rendimento.

Abstract

Brazil currently stands out as one of the largest producers of sugar cane in the world, this crop is of great importance for the Brazilian economic scenario, currently the country stands out worldwide as the largest producer of sugar cane in the world having grown exponentially in numbers of tons harvested, per planted area. Aiming for continuous growth, more and more research is sought through alternatives to greater process efficiency. This work was based on a case study in a sugarcane-based sugar mill located in the southwestern region of Ethiopia and aimed to statistically evaluate the influence of the alcohol content on dornas, together with pH and content of brix in the yield of ethanol. The work was carried out in a company from the sugar and alcohol sector in a municipality in southwest Goiás. The industry has been in the market since 1982, with the main focus being the production of ethanol from the use of the alcoholic fermentation process. The data provided by the company were collected between August and October 2018, and the direct relationship of the alcohol content to the yield of ethanol production was evaluated through statistical analysis varying the Brix content and pH. According to the results of the analysis of variance, the only parameter that has a significant influence on the yield of alcohol produced was the

¹ alexmoura@unirv.edu.br, Professor da Faculdade de Engenharia Mecânica da UniRV;

² brunovieiradasilva1996@hotmail.com, Graduado em Engenharia de Produção pela UniRV.

content of brix and, fixing the quantitative values of alcohol in the dorna, the higher the values of brix content, ethanol production yield to any pH value.

Keywords: Alcoholic fermentation. Production of Ethanol. Yield.

Introdução

De acordo com Vieira (2007), a introdução da cana-de-açúcar no Brasil se deu com a chegada dos primeiros Europeus, por volta de 1530, quando o pau Brasil estava no seu ápice de extração e a instalação definitiva dos portugueses, na região onde hoje se encontra o estado do Pernambuco, foi à primeira região de cultivo de canaviais do novo mundo.

Atualmente o Brasil possui destaque a nível mundial como o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, tendo crescido exponencialmente em números de toneladas colhida, por área plantada (KOHLHEPP, 2010). Segundo dados do Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), a safra de 2017 apresentou um notável aumento de 30% na produção de etanol em comparação com a colheita de cana de açúcar do ano de 2013, chegando a aproximadamente 1 bilhão de toneladas colhidas. Sendo que cerca de 55 % da colheita da cana-de-açúcar (5,7% da área cultivada no Brasil) é aproveitada para a produção do etanol.

A produção de açúcar chegou aproximadamente às incríveis 39,9 milhões de toneladas, obtendo um crescimento de 19,3% comparando com os números da safra anterior, sendo que a região Centro-Sul foi responsável por 36,5 milhões de toneladas e as regiões Norte e Nordeste com 3,4 milhões de toneladas. Considerando os valores, a região Sudeste nesta ocasião foi responsável pela produção de 60% de todo o açúcar produzido no país, conforme dados o consumo interno do açúcar ainda gira em torno de 11 milhões de toneladas por ano. Para a safra de 2020/21, a projeção é de 65 bilhões de litros, dos quais 50 bilhões para consumo em veículos, e o restante, em torno de 15 bilhões de litros de etanol, sendo empregado em diversos outros fins, como por exemplo, na produção de bioquerosene (NAVES et al., 2010).

O processo chave para o beneficiamento da cana-de-açúcar, sem dúvida, é atribuído à fermentação. Ainda segundo Naves et al. (2010), a fermentação é o principal processo adotado para a produção de etanol no Brasil. Utiliza-se como principal matéria prima para a sua produção, a cana-de-açúcar, uma planta *monocotiledônea* pertencente à família das poáceas. O processo de fermentação teve seu surgimento através do cientista Francês Louis Pasteur no século XIX, a partir da descoberta de que uma levedura seria capaz de produzir um teor alcoólico nas bebidas, e apenas em meados do século XVI, começou a ser feita a colheita da cana-de-açúcar para a produção de etanol. (BORGES, 2004 apud ROCHA, 2006).

Dentre alguns parâmetros que se deve levar em consideração para garantir um melhor rendimento no processo de produção de etanol estão: PH, temperatura, brix e teor alcoólico. Cada um, com sua importância específica, podendo acarretar no final do processo um aumento ou queda na eficiência (NAVES et al., 2010).

Diante disso, este trabalho tem o objetivo de verificar o efeito individual e em conjunto do teor alcoólico nas dornas da empresa, do pH e do teor de brix sobre o rendimento da produção de etanol.

Material e métodos

O trabalho foi realizado em uma empresa do setor sucroalcooleiro em um município do sudoeste goiano. A indústria se encontra no mercado desde 1982, tendo como principal foco a produção de etanol a partir da utilização do processo de fermentação alcoólica.

Diante das coletas dos dados disponibilizados pela própria empresa, compreendidos entre os meses de agosto e outubro de 2018, foi avaliada a relação direta do teor alcoólico para o rendimento da produção de etanol através de um planejamento estatístico variando o teor de Brix e pH. O presente trabalho procurou-se demonstrar significativamente as principais influências no processo de fabricação sucroalcooleiro, no estágio da fermentação basicamente. Sendo dividido em algumas etapas.

Primeiramente foi realizada a parte da coleta das amostras nas dornas (caldo de cana com baixo teor de sacarose). As amostras foram coletadas diretamente das dornas, colocado em um frasco devidamente tampado e encaminhado ao laboratório da indústria para determinação do teor alcoólico por meio de metodologia interna, além de determinar valores de Brix via refratômetro e pH.

As amostras foram preparadas e, como parte do método de análise, foi realizado o processo de destilação das amostras para separar por evaporação e condensação a quantidade de álcool contida na solução. A quantidade de álcool separada da solução foi colocada em um densímetro para quantificar, em valores numéricos, o teor de álcool.

Com os dados quantificados, realizou-se uma análise estatística no software *Statística 7.0*. Primeiro realizou-se um planejamento fatorial para verificar a influência individual e conjunta, do teor alcoólico das amostras das dornas da empresa, juntamente com pH e o teor de brix, sobre a eficiência do processo fermentativo de produção de álcool. Em seguida, foi feita a análise de variância e a confecção de gráficos de superfície de resposta para confirmar essa influência. Os dados de pH, teor de álcool e brix serviram de parâmetros de entrada e a eficiência do processo como parâmetro de saída. A eficiência foi determinada a partir do rendimento do processo, dado esse disponibilizado também pelo laboratório da

empresa, e pode ser entendido como a quantidade de álcool produzido pela quantidade teórica de álcool a partir dos açúcares consumidos.

Resultados e discussão

A partir dos dados coletados pela empresa, organizou-se os resultados de rendimentos de etanol produzido para valores de teor de álcool nas dornas $\leq 7,4$ mg/L e $> 7,4$ mg/L. Valores de pH $\leq 2,3$ e $> 2,3$. Valores de teor de brix $\leq 16,8^\circ$ e $> 16,8^\circ$. Essas faixas foram escolhidas por ter as mesmas quantidades de réplicas de valores de rendimento, conforme a Tabela 1 para valores de pH $\leq 2,3$ e Tabela 2 para pH $> 2,3$.

Tabela 1: Relação dos valores de rendimento de produção de álcool em função das faixas de álcool na dorna, teor de brix e pH $\leq 2,3$

Dorna	$\leq 7,4$		$> 7,4$	
	Brix		Brix	
PH	$\leq 16,8$	$> 16,8$	$\leq 16,8$	$> 16,8$
$\leq 2,3$	84,86	86,09	86,09	84,86
	86,8	88,77	88,77	86,8
	89,17	87,39	87,39	89,17
	88,13	88,45	88,45	88,13
	88,13	89,75	89,75	88,13

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela 2: Relação dos valores de rendimento de produção de álcool em função das faixas de álcool na dorna, teor de brix e pH $> 2,3$

Dorna	$\leq 7,4$		$> 7,4$	
	Brix		Brix	
PH	$\leq 16,8$	$> 16,8$	$\leq 16,8$	$> 16,8$
$> 2,3$	82,12	89,97	88,34	91,9
	86,77	91,42	88,58	90,11
	88,05	90,82	86,77	92,44
	81,13	90,02	88,04	89,38
	89,22	92,08	86,29	89,92

Fonte: Próprio autor (2018).

Com os valores de rendimento ajustados em quantidades de réplicas iguais, realizou-se uma análise de variância no software Estatística 7.0 para avaliar a influência separada e conjunta, do teor alcoólico das amostras das dornas, juntamente com pH e do teor de brix, na eficiência do processo fermentativo de produção de álcool, conforme Figura 1.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	321750,3	1	321750,3	28352,48	0,000000
pH	41,5	1	41,5	3,66	0,064842
Alc. Dorna	0,4	1	0,4	0,04	0,845700
Brix	259,0	1	259,0	22,82	0,000038
pH*Alc. Dorna	15,0	1	15,0	1,32	0,258313
pH*Brix	6,6	1	6,6	0,58	0,450395
Alc. Dorna*Brix	26,2	1	26,2	2,31	0,138620
pH*Alc. Dorna*Brix	2,4	1	2,4	0,21	0,649313
Error	363,1	32	11,3		

Figura 1: Análise variância dos valores de teor de álcool das dornas, pH e teor de brix
Fonte: Próprio autor (2018).

Na Figura 1 foram apresentados os graus de liberdade, a soma de quadrados, o quadrado médio, a estatística F e o valor-p (para α de 5%). A influência de um parâmetro na resposta rendimento de álcool produzido pode ser determinada diante da relação F (calculado), determinado pela análise de variância e do F (tabelado) para 5% de significância, que no caso do presente estudo foi de 4,152 (MONTGOMERY & RUNGER, 2012). Ainda segundo Montgomery e Runger (2012), para valores de $F_{(CALCULADO)} > F_{(TABELADO)}$ haverá influência significativa entre os grupos.

Ainda de acordo com a Figura 1, o único parâmetro que possui uma influência significativa sobre o rendimento de álcool produzido é o teor de brix, onde o $F_{(CALCULADO)} = 22,82 > F_{(TABELADO)} = 4,152$. Nem os parâmetros individuais pH e teor de álcool na dorna, nem as interações entre eles, apresentaram influência significativa, visto que o F calculado permaneceu menor que o tabelado, não havendo significância no parâmetro de resposta.

Diante da análise de variância, obtiveram-se os gráficos de superfície de resposta, a partir do *Software Estatística 7.0*, para analisar a tendência do efeito dos parâmetros de entrada: teor de brix, teor de álcool na dorna e pH, para o rendimento de álcool produzido pela indústria. Conforme os gráficos (a) e (b) da Figura 2.

De acordo com o gráfico de superfície de resposta da Figura 2(a) para teores de álcool fixados em $\leq 7,4$ quanto maiores os valores de teor de brix, melhor o rendimento de produção de etanol para qualquer valor de pH. Para valores altos de teor de brix, em torno de 19°, obteve-se uma leve tendência no aumento de rendimento com o aumento de valores de pH.

O teor de brix demonstra os valores de concentração de açúcar (sacarose) na amostra, sendo que, quanto maior o valor desse parâmetro, maior será o consumo dos açúcares pelos microrganismos e, de maneira geral, melhor a evolução do método fermentativo, melhor a produção de etanol (KOHLEPP, 2010). Porém, de acordo com

Cebalhos-Schiavone (2009), o teor de brix possui uma faixa ótima (18° a 22° graus brix) para que se tenha uma produção máxima de etanol.

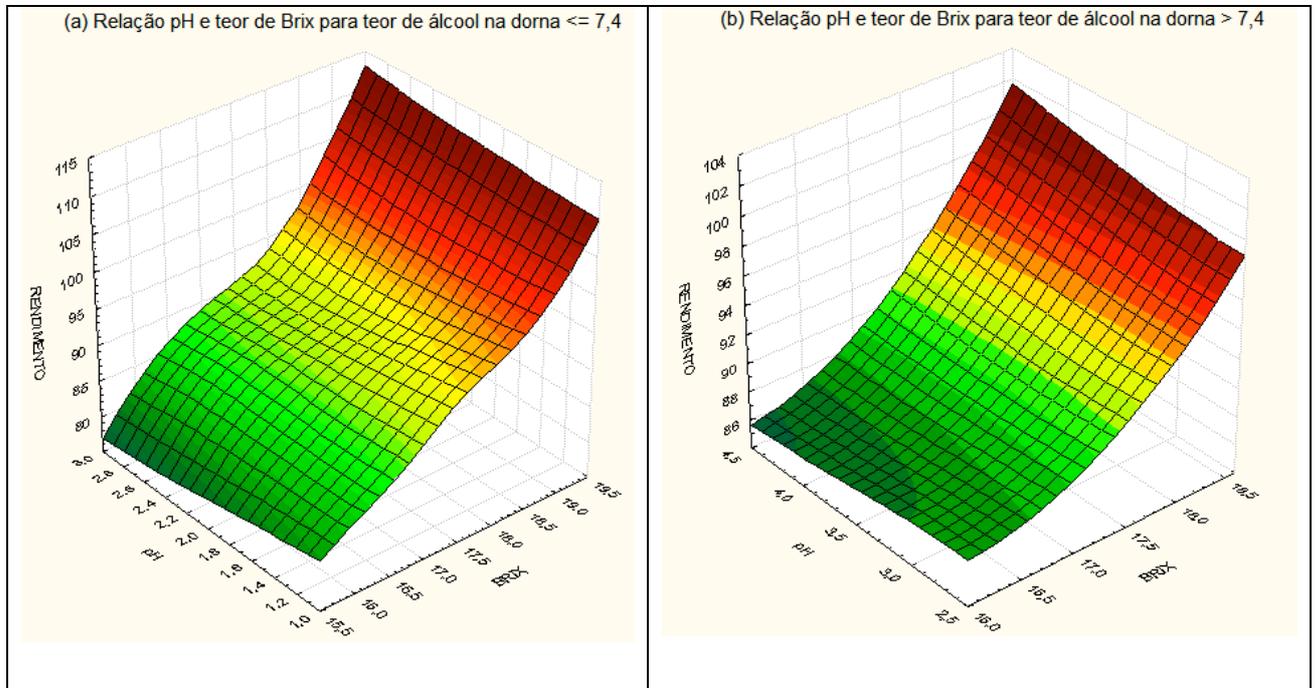


Figura 2: Gráficos de respostas relacionando teor de álcool da dorna, pH e teor de brix no rendimento de álcool produzido. (a) para teor de álcool ≤ 7,4. (b) para teor de álcool > 7,4.

Fonte: Próprio autor (2018).

Segundo Moreira et al (2015), que avaliou a capacidade fermentativa nas concentrações de 12°, 15°, 24° e 30° graus Brix, os resultados demonstraram que para um alto teor de brix, ou seja, 30°, ocasiona o estresse celular provocando o aumento da osmolaridade externa, como consequência, tem-se a redução do crescimento e do índice de efetividade celular das células, devido às modificações no grau de variações osmóticas por meio da membrana plasmática.

Corroborando com o comportamento do gráfico de superfície de resposta representado na Figura 2(a), fixando os valores de teores de álcool maiores que 7,4 (Gráfico (b)), houve um melhor rendimento de etanol produzido para maiores valores de teor de brix para qualquer faixa de pH, melhorando a tendência de rendimento para maiores valores de pH, em torno de 4,5.

De acordo com Ribeiro (2006), para o processo de fermentação em sua grande maioria, o pH do meio tem uma influência tanto na formação do produto (etanol) quanto no crescimento. No decorrer do método fermentativo o pH pode ter uma variação em decorrência de diversos fatores, por exemplo, devido ao consumo de fontes de nitrogênio e geração de ácidos, como acético e láctico. Embora tenha algumas exceções, as bactérias geralmente crescem em uma faixa de pH de 4 a 8, mofos de 3 a 7 e leveduras de 3 a 6. A

indústria estudada utiliza-se de leveduras para fermentação alcoólica, demonstrando que melhores resultados quando se tem maiores valores de pH, em torno de 4,5, dentro da faixa ótima encontrada na literatura.

De uma forma geral, obteve-se um melhor rendimento na produção de etanol para valores maiores de teor de brix, obtendo uma leve tendência no aumento do rendimento com o aumento de valores de pH. Porém, o processo fermentativo é composto de diversos parâmetros importantes, como temperatura, teor de levedura, entre outros, que podem servir como um estudo futuro, juntamente com o teor de brix, álcool na dorna e pH, para analisar o desempenho na produção de etanol.

Conclusões

De acordo com o estudo estatístico para avaliar a influência do teor de brix, teor de álcool na dorna e pH sobre o rendimento de etanol produzido, o único parâmetro que possui uma influência significativa sobre o rendimento de álcool produzido é o teor de brix, melhorando o rendimento para valores maiores de teor de brix, obtendo uma leve tendência no aumento do rendimento com o aumento de valores de pH.

Referências

BNDES. Referência obtida na Internet. www.bndes.gov.br. Acesso em Junho/2018.

CEBALLOS-SCHIAVONE, C. H. M. Tratamento térmico do caldo de cana-de-açúcar visando a redução de contaminantes bacterianos - *Lactobacillus* - na produção de etanol e eficiência de tratamento do fermento por etanol 177f (Dissertação) Faculdade de Ciência de alimentos - Escola Superior de agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2009.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. Estudos avançados. v.24, p.223 – 253. 2010.

MONTGOMERY, D. C; RUNGER, G. C. Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2012.

MOREIRA, C. S. et al. Análise dos parâmetros morfofisiológicos de linhagens de leveduras industriais com potencial biotecnológico para a produção de etanol. Ciência e Natura, Santa Maria, v. 37 n. 4 set-dez. 2015, p. 55-63.

NAVES, R. F. et al. Contaminação microbiana nas etapas de processamento e sua influência no rendimento fermentativo em usina alcooleira. Goiânia - GO, Universidade Estadual de Goiás, 2010.

RIBEIRO, E. J. Apresentação Dia Nacional do profissional da Química e II Escola da Química, 2006.

ROCHA, J. R. T. Fermentação Alcoólica na Indústria cervejeira. Trabalho Científico apresentado ao ISE para obtenção do grau de Bacharel em Físico-Química, João Pessoa-PB, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, 2006.

VIEIRA, M. C. A. et al. Setor sucroalcooleiro brasileiro: evolução e perspectivas. Rio de Janeiro - RJ: BNDES, 2007.